第四章

模擬實驗

我們依照前述方式設計網路模擬實驗，來驗證理論本身的可行性，並了解在改進 holdoff exponent 及 minislot allocation 的問題後，對系統效能及封包傳送延遲的改善程度爲何？我們共安排了兩個實驗，實驗一是測試動態調整 holdoff exponent 是否能有效降低傳輸延遲？以及節點是否能對不同等級的頻寬要求進行差別配置，使優先權較高的資料流盡快通過，減低封包轉送產生的延遲？實驗二進一步地增加了更多的節點，測試在較複雜的拓樸環境中，以 neighborhood 範圍進行頻寬配置，是否能改善壅塞環境下分散式系統的配置缺陷？

4.1 模擬環境

本研究採用的模擬平台是由交通大學資訊工程所的網路與系統實驗室所研發的「NCTUns」網路模擬器。實驗使用的版本爲 4.0，運作在 Fedora Core 7 平台上。此套模擬器可以模擬 IEEE 802.16 的 mesh mode 環境，並可透過改編原始碼來編輯所需的系統核心，改變節點的頻寬配置行爲，故以其作爲本實驗的模擬工具。

下表是實驗中 IEEE 802.16 數個網路組態設定參數及其設定值之意義說明，爲了方便比較，我們以 Bayer 的實驗參數進行設定。

OFDM mudulation	64-QAM_3/4	108 bytes per OFDM symbol
Frame Length code	4	Frame duration 10 ms
MSH-CTRL-LEN	5	5 TOs per control subframe
MSH-DSCH-NUM	5	All TOs use distributed scheduling
Scheduling frame	2	Network control : Schedule control = 1:8

Table 2: QoS and system reference

4.2 模擬實驗一

在實驗一中，我們以固定流量的資料流，測試節點在轉送時是否依據 QoS 等級進行優先配置，網路拓樸結構如 Figure 24 所示，測試資料流均爲 UDP，我們令 Figure 24 中的 SS 產生 UGS、rtPS、nrtPS 及 BE 四種資料流，平均生成速度爲 1.2Mbit/s，模擬時間兩百秒。此實驗的總流量較低，無線的頻寬未達飽和，故實驗當中封包流失的狀況幾乎爲零，因此我們並未列出封包流失率的評比，單就 delay、jitter 及 throughput 進行比較。

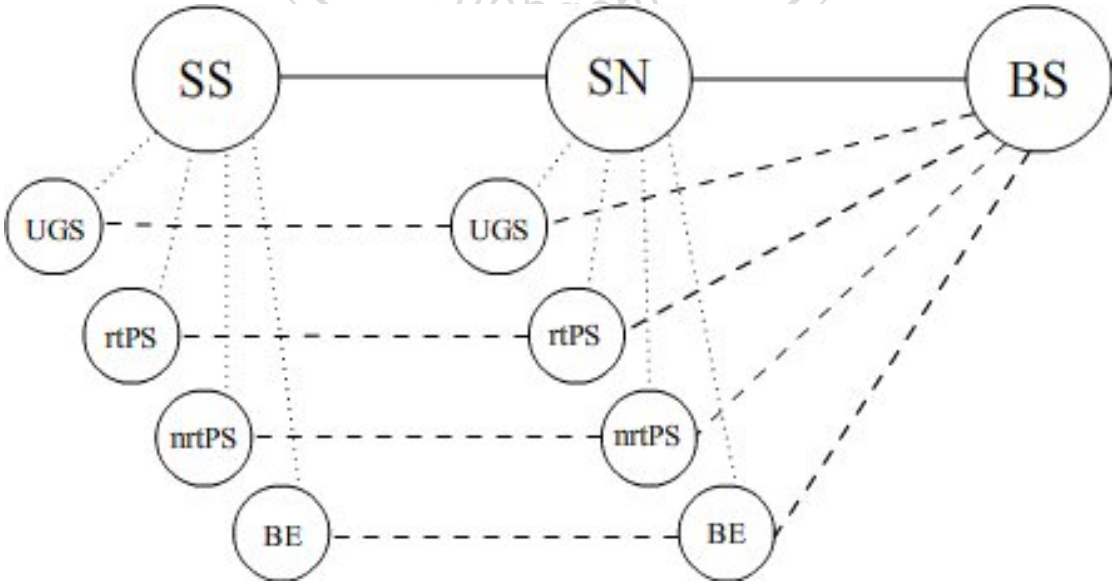

Figure 25: Topology of experiment 1

首先我們先比較 delay 的狀況，我們可以看到在這個 2-hop 的環境下，802.16 的機制會產生 2 秒以上的 delay，而我們所提出的 NBMA 的 delay 平均大約在 0.28~0.33 秒左右，遠較 802.16 低了約 85%左右，相較於 DynExp 亦有 20%的改善。最高的延遲出現在 BE 資料流，僅有 0.77 秒，雖略高於 Bayer 所提的 DynExp，但仍較 802.16 低約 64%。由此實驗結果可得知，holdoff exponent 對於封包 delay 的影響相當顯著，且採用動態調整的方式可以有相當大的改進；而我們所提出的 NBMA 方法改善了 minislot 分配時會產生的等待時間，故我們的作法可比 DynExp 更好，對於改善 delay 有很好的效果。其直方圖、實際傳輸速度及改善幅度可見 Figure 25、Table 3 及 4。

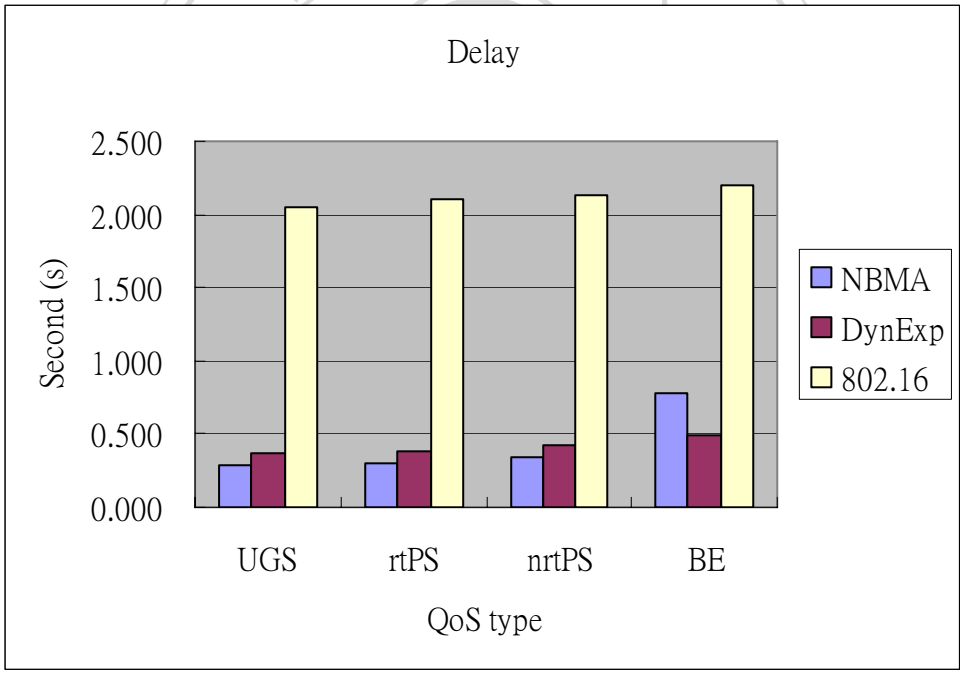

Figure 26: Delay of experiment 1

	NBMA	DynExp	802.16
UGS	0.288	0.367	2.051
rtPS	0.294	0.386	2.106
nrtPS	0.339	0.419	2.131
BE	0.775	0.486	2.201

Table 3: Delay of experiment 1

	DynExp	802.16
UGS	21.59	85.97
rtPS	23.69	86.02
nrtPS	19.01	84.08
BE	-59.65	64.78

Table 4: Improvement of delay in experiment 1

在 jitter 方面，NBMA 仍有不錯的表現，在前三種 QoS 資料流中都有最低的 jitter，比 802.16 低了 12%~20%不等，比起 DynExp 也以 0.35%~7.5%略勝，僅僅在 BE 部分略遜於這兩種方法，這是因爲 NBMA 將延遲較低的 minislot 分配給前三種資料流，故 BE 部分只能分配到較零散的頻寬，使 jitter 提高。但 BE 資料流的服務品質要求對 jitter 的重視程度較低，因此理論上不致造成使用者的困擾。

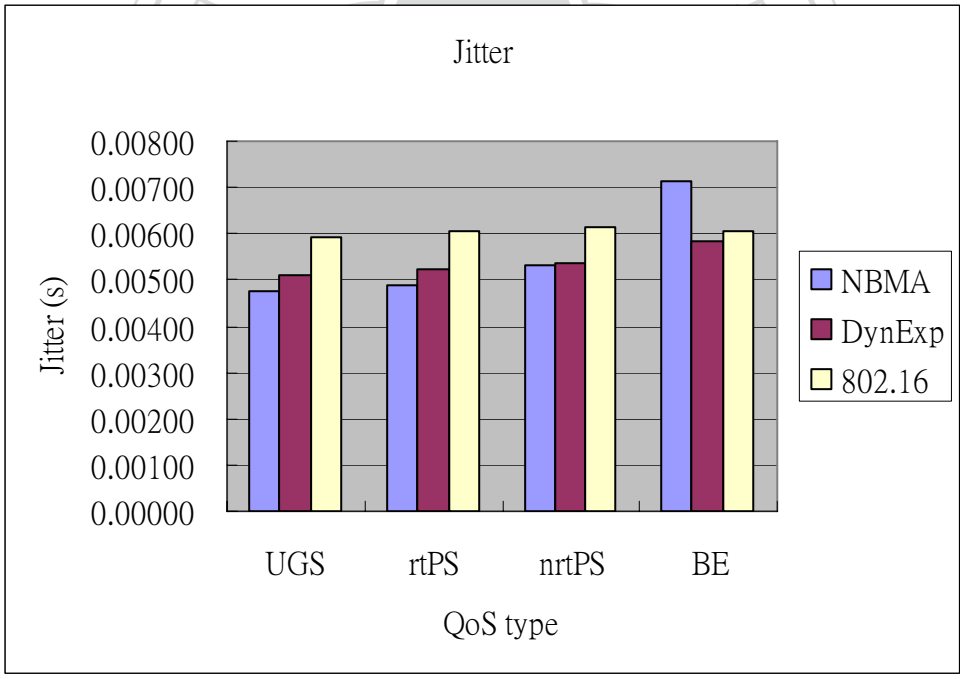

Figure 27: Jitter of experiment 1

	NBMA	DynExp	802.16
UGS	0.00474	0.00512	0.00594
rtPS	0.00488	0.00522	0.00606
nrtPS	0.00534	0.00536	0.00613
BE	0.00715	0.00585	0.00605

Table 5: Jitter of experiment 1

	DynExp	802.16
UGS	7.52	20.23
rtPS	6.52	19.41
nrtPS	0.35	12.83
BE	-22.31	-18.16

Table 6: Improvement of jitter in experiment 1

關於 throughput 的部分，NBMA 及 DynExp 兩種方法的 throughput 幾乎不相上下，但比 802.16 略高 7.5%~8%，這表示以動態調整 holdoff exponent 的作法有助於提升頻寬使用率(bandwidth utilization)。另一方面，我們觀察到四種資料流的平均 throughtput 幾乎相等，這表示在頻寬足夠的狀況下，這三種方法都可以維持頻寬配置的公平性(fairness)，並未造成某些低優先權資料流傳輸的困難。

國立政治大學 National Chengchi University

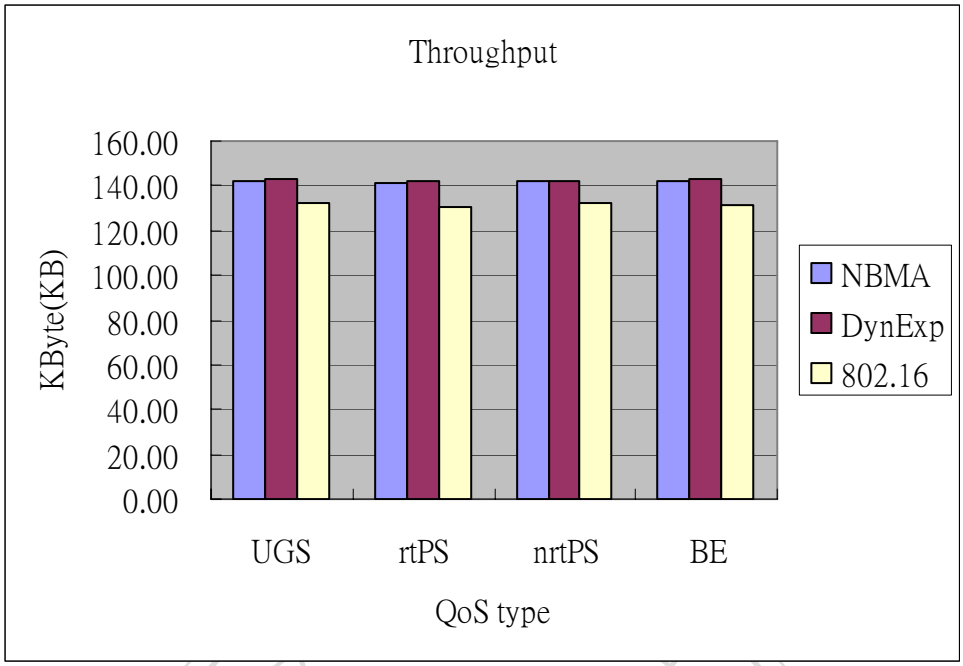

Figure 28: Throughput of experiment 1

	NBMA	DynExp	802.16
UGS	142.44	143.08	131.95
rtPS	141.62	142.05	130.75
nrtPS	142.36	142.23	132.30
BE	142.09	142.99	131.79

Table 7: Throughput of experiment 1 (KByte)

	DynExp	802.16
UGS	-0.45	7.95
rtPS	-0.31	8.31
nrtPS	0.09	7.60
BE	-0.63	7.82

Table 8: Improvement of throughput in experiment 1

4.3 模擬實驗二

在實驗二中，我們加入較多的節點，以及較多的資料流進行傳輸，測試節點在頻寬接近滿載的情況下，是否仍能依照 QoS 的優先順序進行傳輸，並且測試

NBMA 機制是否能有效過濾優先權較低的 request，實驗拓樸如 Figure 28 所示：

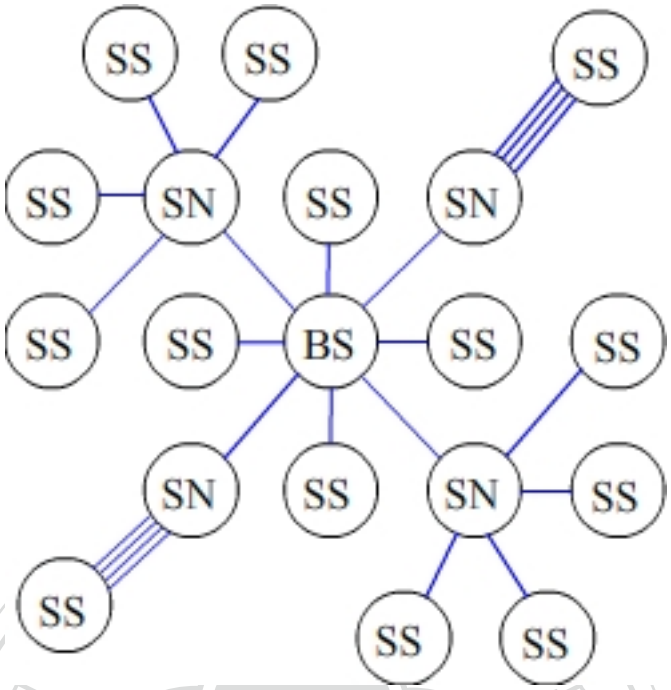

Figure 29: Topology of experiment 2

在 Figure 28 中，每一個 SS 都向 BS 送出一條 BE 資料流，而右上及左下兩個 SS 則向 BS 送出四條資料流，BS 周圍的四個 SN 進行封包轉送，而 BS 周圍的四個 SS 亦以 BE 作爲背景資料流進行頻寬競爭。

在傳輸延遲方面，因爲流量及拓樸變得複雜，整體的延遲提高許多，但 NBMA 在 UGS、rtPS 及 nrtPS 三種資料流均較 DynExp 及 802.16 爲低，改善幅度約 40~50%左右，BE 資料流的延遲略比 DynExp 爲高，但大約與 802.16 相等，原因是 BE 的 minislot 配置優先權較低，因此 UGS、rtPS 及 nrtPS 使用了延遲較低的 minislot，使 BE 的延遲提高。

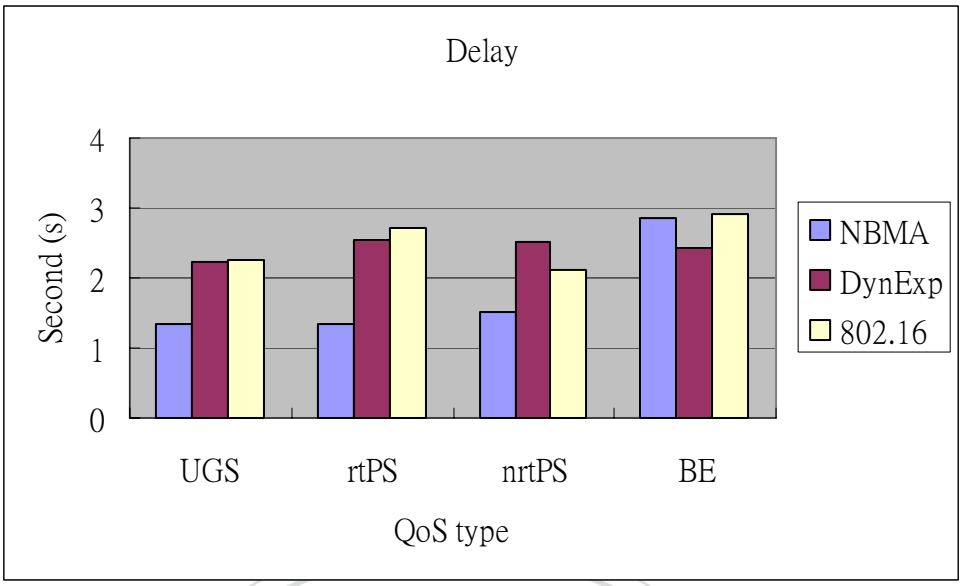

Figure 30: Delay of experiment 2

	NBMA	DynExp	802.16
UGS	1.336	2.234	2.270
rtPS	1.356	2.553	2.713
nrtPS	1.505	2.526	2.124
BE	2.860	2.426	2.906

Table 9: Delay of experiment 2

	DynExp	802.16
UGS	40.20	41.16
rtPS	46.88	50.02
nrtPS	40.41	29.15
BE	-17.87	1.59

Table 10: Improvement of delay

在 jitter 方面，由於流量變高，request 若被 reject 時會更容易造成 jitter 變糟的現象，因此整體 jitter 的數據都比實驗一爲高。我們提出的 NBMA 方法會記錄 request 被連續 reject 的情況，並賦予這種 request 較高的重要性，因此連續多次被 reject 的情況較少，故在前三種較高優先權的資料流傳輸過程中，NBMA 的 jitter 相較於 DynExp 及 802.16 爲低，大約改善 5~10%左右。

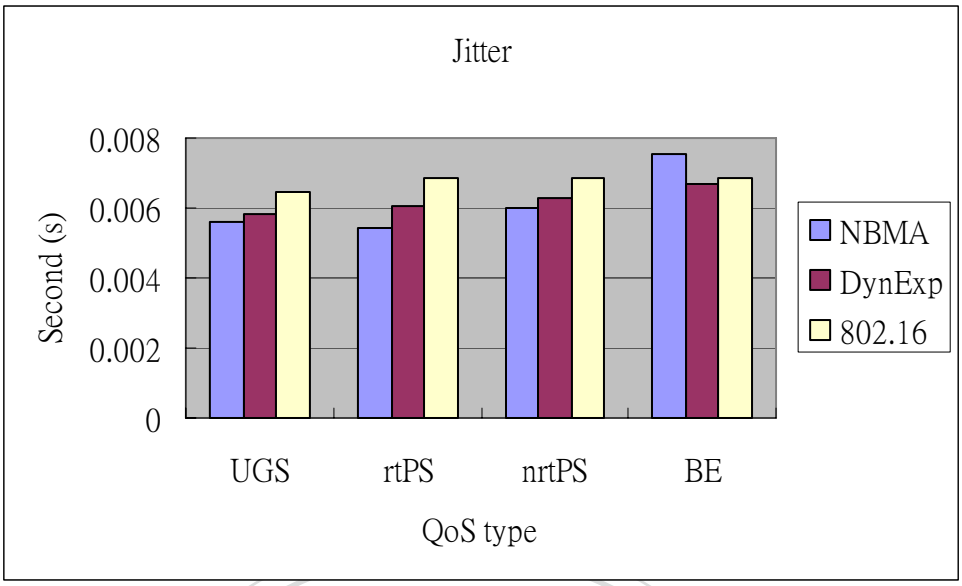

Figure 31: Jitter of experiment 2

	NBMA	DynExp	802.16
UGS	0.005615	0.005821	0.006444
rtPS	0.005415	0.006084	0.006867
nrtPS	0.006006	0.006294	0.006877
BE	0.007515	0.006712	0.006840

Table 11: Jitter of experiment 2

	DynExp	802.16
UGS	3.54	12.86
rtPS	10.99	21.14
nrtPS	4.58	12.67
BE	-11.97	-9.88

Table 12: Improvement of jitter

在 throughput 部分，由於實驗二放入較多的資料流，因此會產生頻寬競爭，我們發現 UGS 與 rtPS 的 throughput 與實驗一大約相同，表示 UGS 及 rtPS 的頻寬被優先配置，不因頻寬競爭而減少；而 nrtPS 及 BE 則相對減少，表示這兩種資料流的優先權較低，故流量亦降低。原始的 802.16 並無 QoS 設計，因此以

throughput 最高的資料流與 UGS 相比，並依序類推。整體來說，NBMA 與 DynExp 在 throughput 方面大約平手，略優於 802.16 約 10%左右。

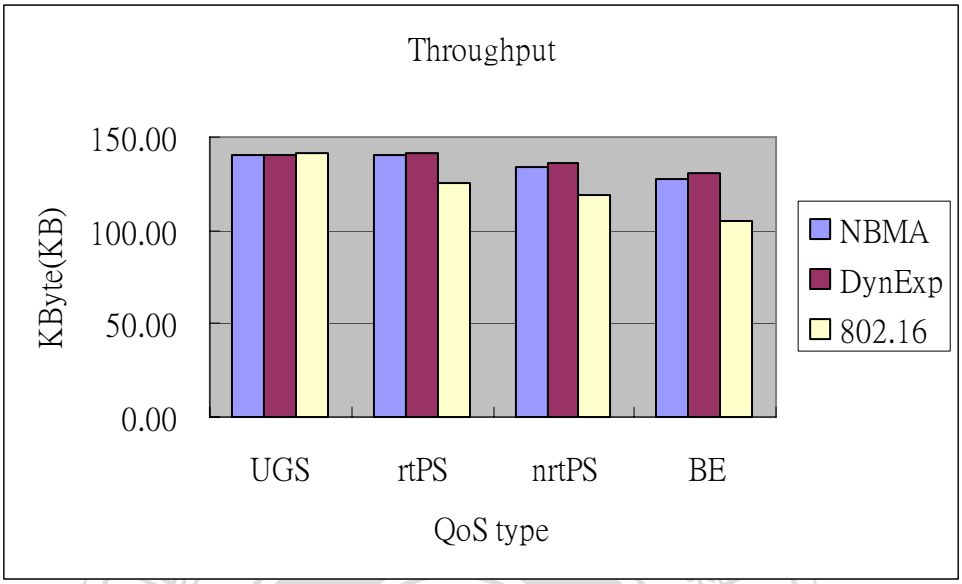

Figure 32: Throughput of experiment 2

	NBMA	DynExp	802.16
UGS	140.57	140.54	141.09
rtPS	140.71	141.92	125.05
nrtPS	134.15	135.58	119.00
BE	127.70	130.88	105.40

Table 13: Throughput of experiment 2

	DynExp	802.16
UGS	0.02	-0.37
rtPS	-0.85	12.52
nrtPS	-1.05	12.73
BE	-2.43	21.15

Table 14: Improvement of throughput

最後是公平性(fairness)比較，我們依照實驗中每十秒分配給四種資料流

的頻寬進行公平性分析，其計算公式如下：

$$Fairness = \frac{\left[\sum \left(req_{type} - alloc_{type}\right)\right]^2}{n * \left[\sum \left(req_{type} - alloc_{type}\right)^2\right]} \quad , n = 4 \, , type = UGS, rtPS, nrtPS, BE \tag{19}$$

Figure 32 是從第 40 秒開始到第 100 秒的公平性折線圖，從圖中可看出 NBMA 與 DynExp 的公平性曲線互有高低，但整體都比 802.16 的曲線略高。Figure 33 則是將此曲線的公平性評估值進行平均，可看出 NBMA 比 DynExp 略高 0.035 左右，故公平性部分略優於 DynExp。

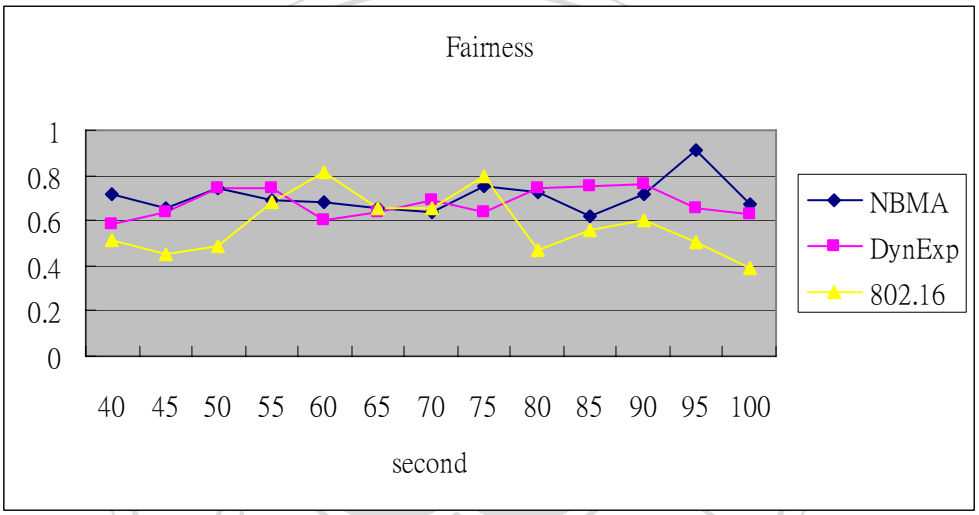

Figure 33: Fairness in experiment 2

Chengchi Univ

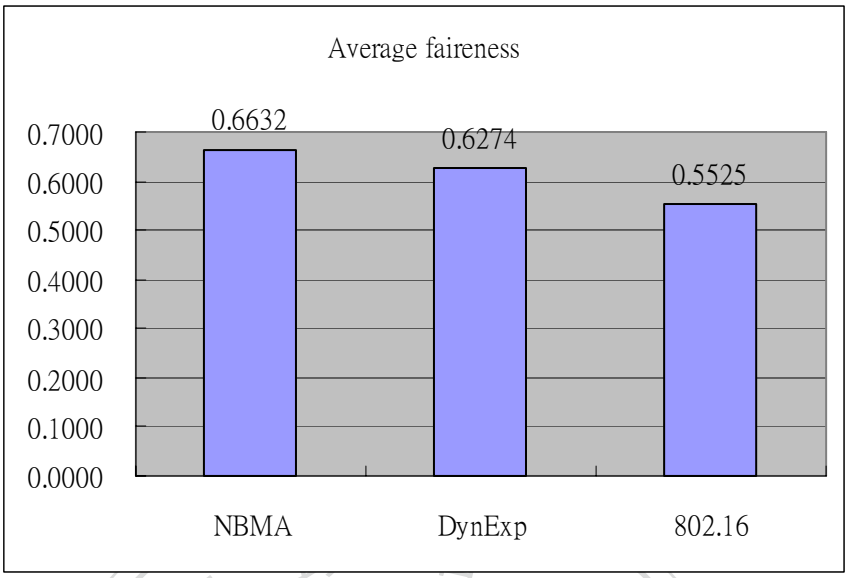

Figure 34: Average fairness in experiment 2

總結以上的實驗結果，可以證明我們所提出的 NBMA 方法在網路負載較輕的環境中，對改善傳輸延遲方面具有極顯著的效果，同時亦能降低部份的 jitter 現象，在 throughput 部分也有部分的提升效果。而在負載較重的環境中，亦能降低傳輸延遲，並且保障高優先權的資料流頻寬。此外，只要設定合理的重要性評估規則，亦可達到頻寬分配的公平性，故 NBMA 方法非常適合解決分散式無線網路環境中頻寬分配的問題。